

Aus dem Strahleninstitut
der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen
Direktor: Prof. Dr. Norbert Henning

Isodosen bei Pendelbestrahlung über ein senkrechtes Bogenfeld und zwei konvergente Bogenfelder

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Harry Buse
aus Lipno / Westpreußen



Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen

Dekan: Prof. Dr. N. Henning

1. Referent: Prof. Dr. F. Wachsmann

2. Referent: Prof. Dr. N. Henning

Tag der mündlichen Prüfung: 31. 7. 1958

Sonderdruck aus
STRAHLENTHERAPIE

Band 109, Heft 2 u. 3 (1959)

VERLAG URBAN & SCHWARZENBERG / MÜNCHEN UND BERLIN

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten

Aus dem Institut für Strahlenforschung an der Universität Erlangen
(Leiter: Prof. Dr. F. Wachsmann)

Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder

Von

Felix Wachsmann und Harry Buse

Mit 10 Abbildungen

Mit der Pendelbestrahlung können bei der Verwendung konventioneller Strahlungen, d. h. Röhrenspannungen von etwa 200 kV, bereits bei der Einstrahlung über *ein* zur Pendelachse senkrecht stehendes Bogenfeld meist ausreichende Herddosen ohne übermäßige Belastung der Haut erreicht werden. In gewissen Fällen — z. B. wenn breite Felder verwendet werden oder wenn der Pendelwinkel nicht groß sein kann — läßt die erzielbare „relative Tiefendosis“* jedoch zu wünschen übrig. Für diese Fälle wurde die *Pendelkonvergenzbestrahlung* geschaffen, bei der bekanntlich die quer zur Pendelachse verlaufende Pendelbewegung mit einer in Richtung der Pendelachse erfolgenden *Translationsbewegung* der Röhre kombiniert wurde (*Wichmann* [1]). Die relative Tiefendosis läßt sich jedoch Vorschlägen von *Neumann* und *Wachsmann* [2] sowie *Jensen* [3] entsprechend auch dadurch verbessern, daß nicht über ein senkrechttes Bogenfeld, sondern über zwei (oder erforderlichenfalls mehrere) schräge, konvergent aufeinander ausgerichtete Bogenfelder eingestrahlt wird (Abb. 1). Diese Methode wurde in der Folgezeit auch von anderen Autoren immer wieder beschrieben (*Wachsmann* und *Barth* [4], *Kuttig* [5]) und auch klinisch angewendet (*Lehmann* [6]).

Da sich, wie *Wichmann* [1] zeigen konnte, die relative Tiefendosis durch Einführung der Pendelkonvergenzbestrahlung gegenüber der einfachen Pendel- oder Rotationsbestrahlung unter sonst gleichen Bedingungen doch erheblich steigern läßt (Abb. 2), sahen wir uns veranlaßt zu untersuchen, ob und in welchen Grenzen sich mit der *Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder* bessere Bedingungen erreichen lassen als bei der Einstrahlung über nur ein Bogenfeld.

Die Messungen wurden an einem Pendelgerät nach Kohler der Siemens-Reiniger-Werke, Erlangen, ausgeführt. Als Phantom diente ein zylindrisches Plexiglas-Wasser-Phantom von 25 cm Durchmesser und 50 cm Länge. Die Dosismessungen erfolgten mit einer Sonden-Fingerhutkammer von Siemens (etwa 0,5 cm³), die an ein Siemens-Univer-

* Unter relativer Tiefendosis verstehen wir bei der Bewegungsbestrahlung das Verhältnis der Herddosis zur Oberflächendosis während eines vollständigen Bewegungsablaufes.

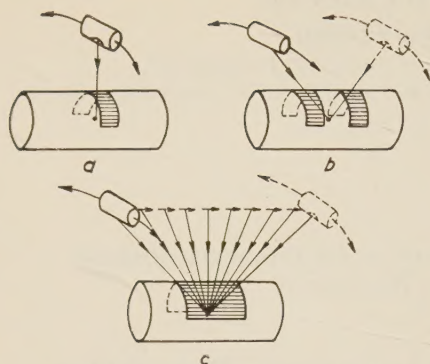


Abb. 1. Schematische Darstellung des Bewegungsablaufes der Röntgenröhre bei der: a) Pendelbestrahlung über ein senkrecht Bogenfeld, b) Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder und c) Pendelkonvergenzbestrahlung.

saldosimeter angeschlossen war. Im Gebiet der benutzten Strahlung (200 kV, 0,5 mm Cu Gesamtfilter, HWS 1,0 mm Cu) ist die Anzeige dieser Kammer von der Strahlenqualität praktisch unabhängig.

Die *Ergebnisse* der von uns durchgeführten Messungen sind in den Abbildungen 3–7 dargestellt. In diesen Abbildungen sind die bei der einfachen Pendelung erzielbaren Isodosen jeweils den bei der konvergenten Einstrahlung über zwei Pendelfelder erreichbaren Dosisverteilungen gegenübergestellt. Schraffiert wurde das Gebiet, in dem eine Dosis von 90–110% der mittleren Herddosis erreicht wurde. Dieses Gebiet ist nach der einmal von *Schinz* und *Wideröe* [7] gegebenen Definition als „homogen durchstrahltes Herdgebiet“ anzusehen.

Betrachtet man die in Abb. 3–7 dargestellten Isodosen, die bei der Einstrahlung über zwei konvergente Bogenfelder erzielt wurden und vergleicht man die Ergebnisse mit denen bei der einfachen Pendelbestrahlung, so erkennt man, daß die *Hautbelastung* bezogen auf gleiche Herddosen, bei allen gewählten

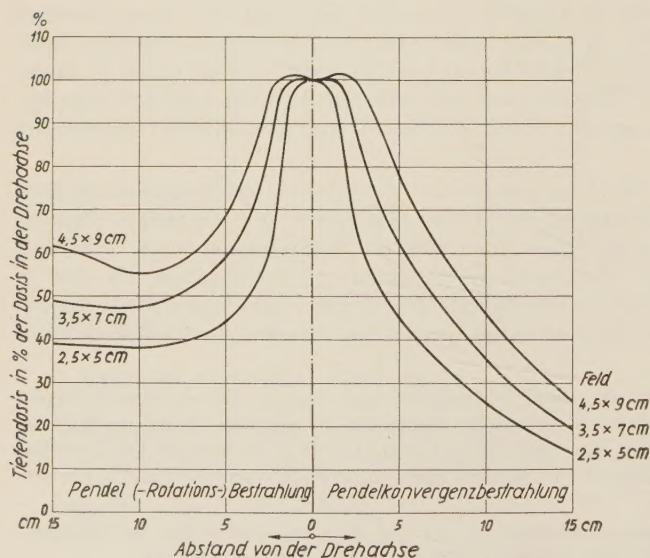


Abb. 2. Tiefendosiscurven bei Pendel- (Rotations-) Bestrahlung und vergleichsweise Pendelkonvergenzbestrahlung; Pendelradius 50 cm, Pendelwinkel 360°, Translationswinkel 60° (nach *Wichmann* [1]).

Abb. 3–7. Isodosen bei der einfachen Pendelbestrahlung (oben) und — vergleichsweise — bei der Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder (unten). Pendelwinkel 180° , FHA 50 cm, Breite der unbestrahlten Hautzone zwischen den beiden Bogenfeldern 2 cm.

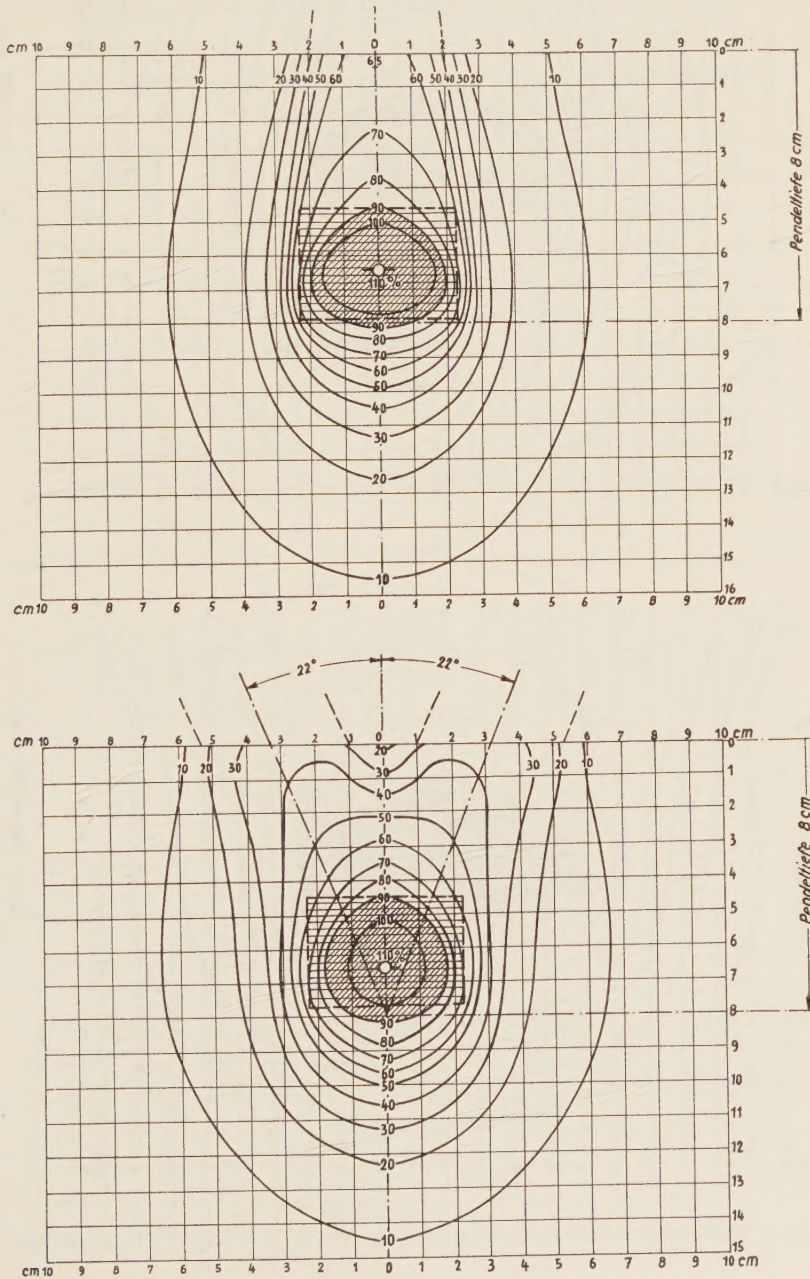


Abb. 3. Pendel- (Achsen-) Tiefe 8 cm, Hautfeld 3×4 cm.

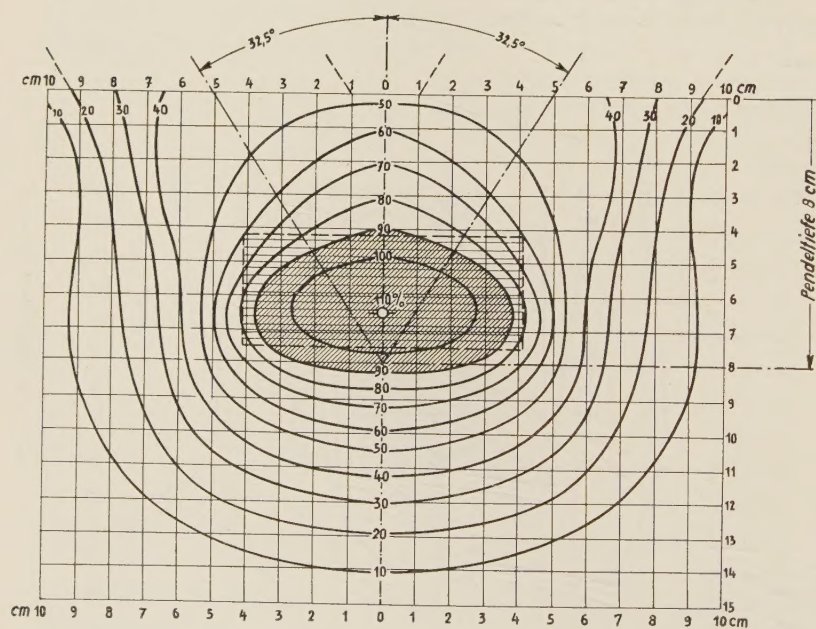
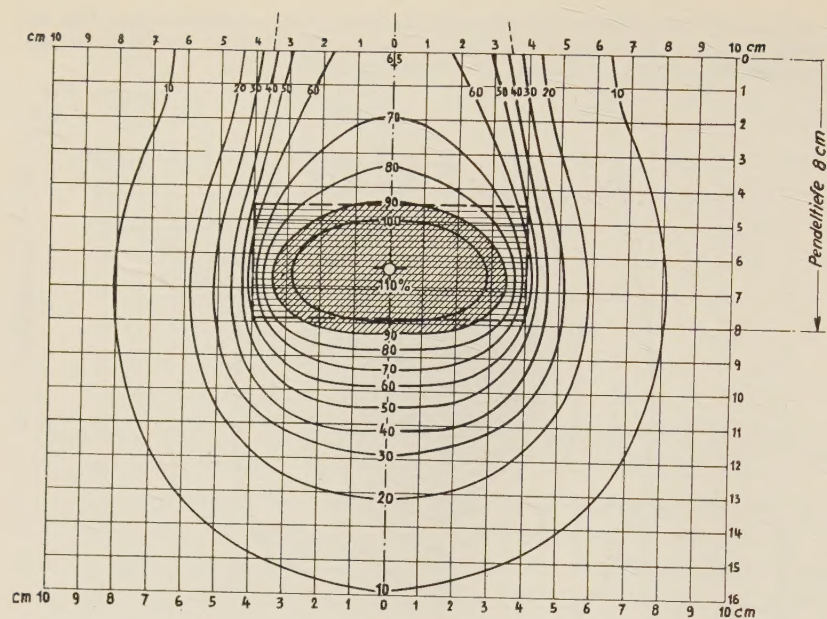


Abb. 4. Pendel- (Achs-) Tiefe 8 cm, Hautfeld 3x7 cm.

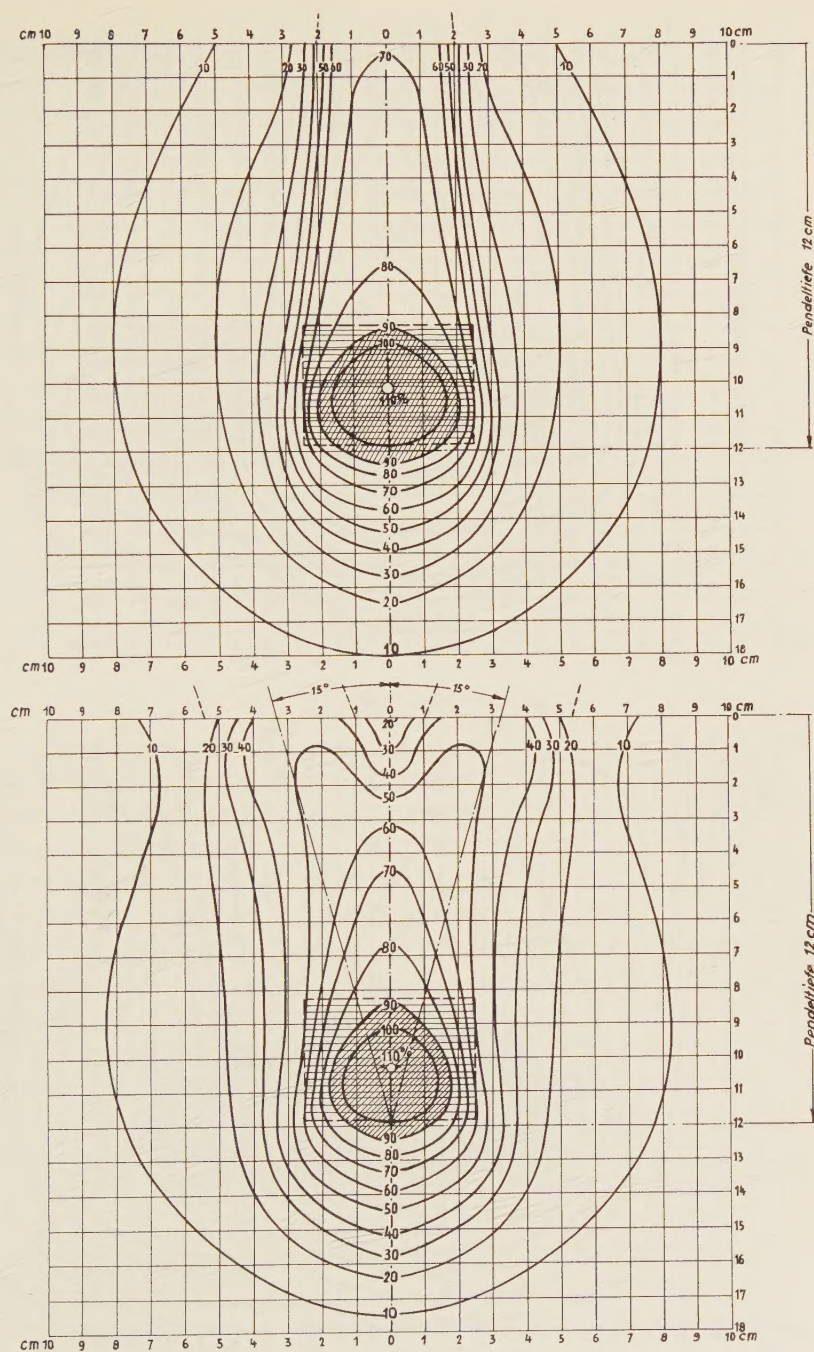
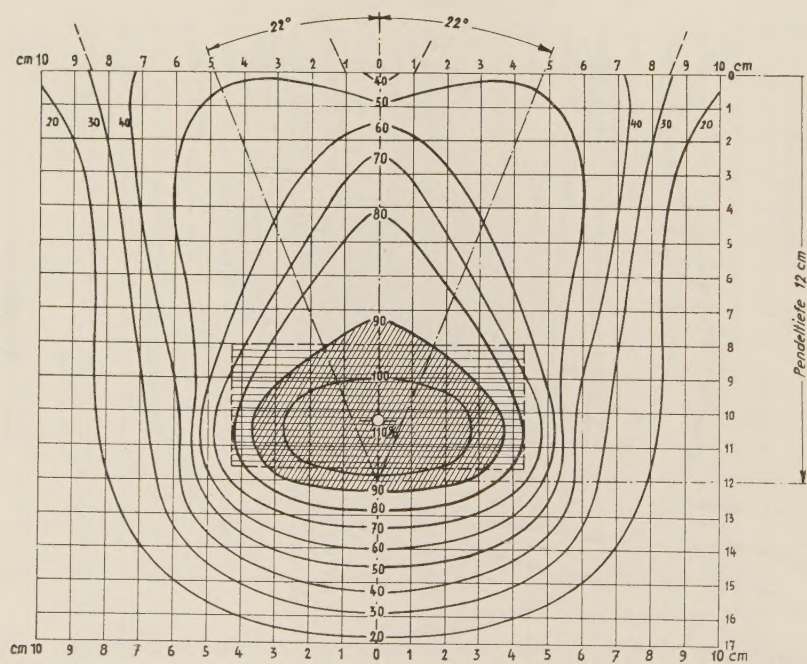
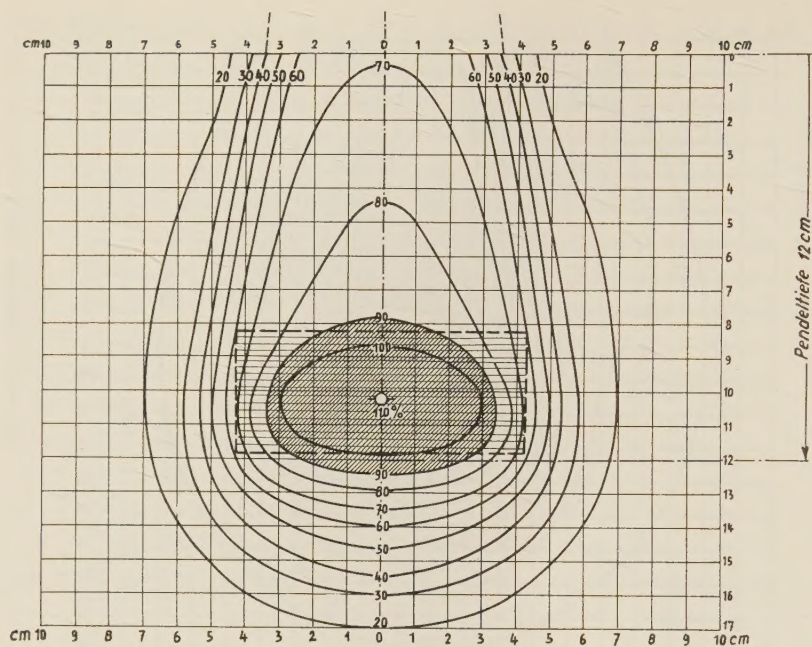


Abb. 5. Pendel- (Achs-) Tiefe 12 cm, Hautfeld 3×4 cm.

Abb. 6. Pendel- (Achsen-) Tiefe 12 cm, Hautfeld 3×7 cm.

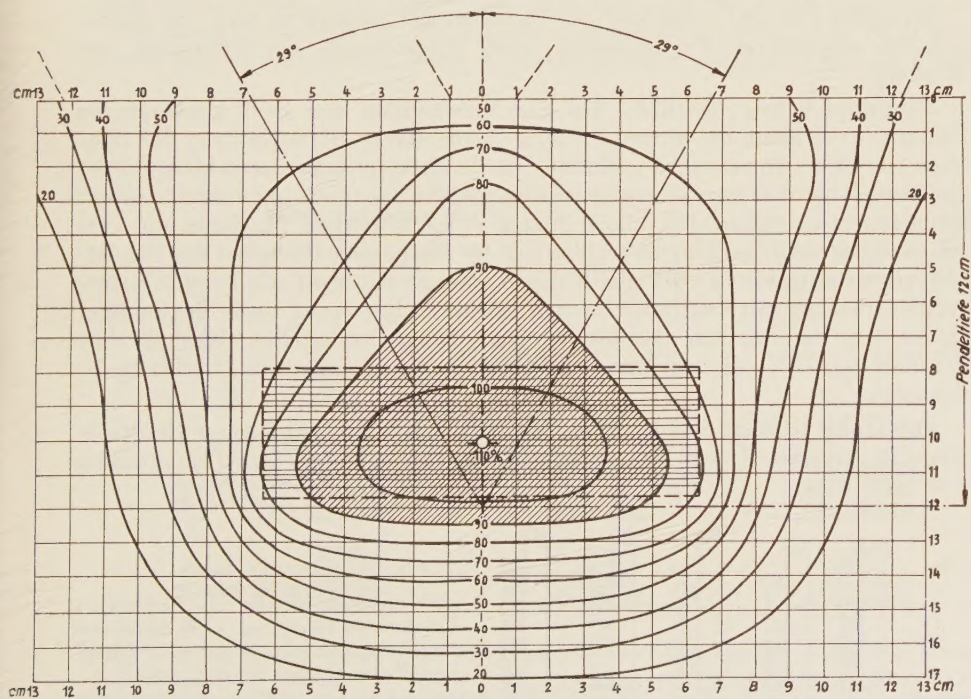
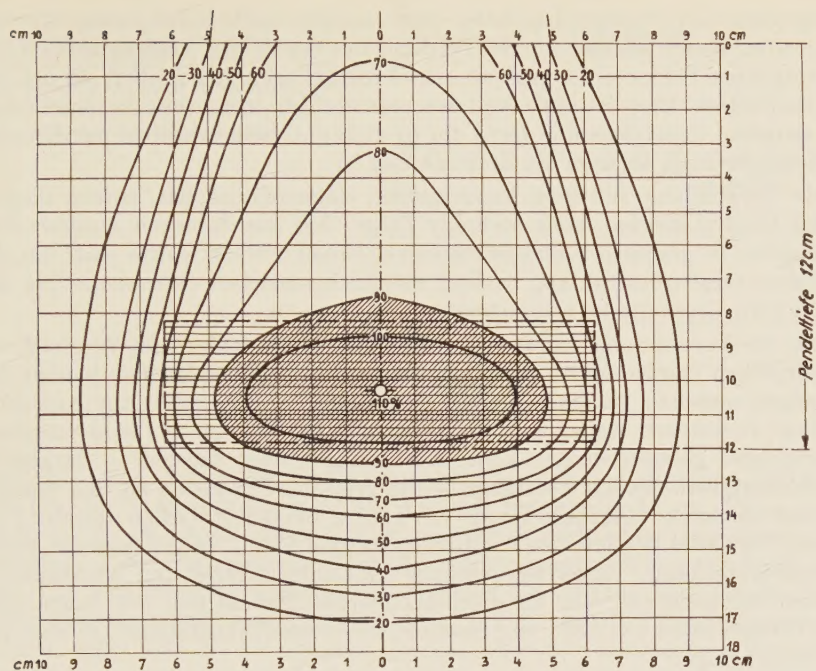


Abb. 7. Pendel- (Achs-) Tiefe 12 cm, Hautfeld 3×10 cm.

Feldgrößen und Pendeltiefen mehr oder weniger stark herabgesetzt ist. Der Gewinn ist dabei bei den kurzen Feldern, bei denen der Neigungswinkel der konvergenten Felder nicht groß zu sein braucht, sehr viel größer als bei den langen Feldern. Dies ist ohne weiteres verständlich, wenn man berücksichtigt, daß zwischen Oberfläche und Herd um so dickere Gewebeschichten durchstrahlt werden müssen, je schräger die Einstrahlung ist.

Die Verwendung von zwei konvergenten Bogenfeldern hat, sofern längere Felder benützt werden, aber auch zur Folge, daß das *homogen ausgestrahlte Herdgebiet* in gewissen Grenzen zunimmt. Dieser Effekt wurde auch bei der Pendelkonvergenzbestrahlung beobachtet und beschrieben (Wichmann [8] und Kuttig [9]). Er dürfte im allgemeinen erwünscht sein.

Was die Verwendung von zwei konvergenten Bogenfeldern im Vergleich mit der einfachen Pendelung im einzelnen bringt, ist in den folgenden beiden Abbildungen nochmals zusammengefaßt dargestellt. Abbildung 8 gibt Aufschluß darüber, in welchem Maße die Oberflächendosis bei den von uns ausgemessenen Bedingungen gesenkt werden kann. Abbildung 9 zeigt dagegen — dargestellt in Abhängigkeit von der Feldlänge — wie groß die Herddosis ist, die bezogen auf eine maximale Oberflächendosis von 100%, bei der einfachen und der Pendelung über zwei Bogenfelder verabreicht werden kann. Vergleichsweise wurde in diese Abbildung — unter Verwendung von Zahlenangaben von Wichmann [1] — auch eingezeichnet, was die Pendelkonvergenzbestrahlung mit einem gleichen Pendelwinkel von 180° und einem Konvergenz-(Translations-)Winkel von 60° etwa bringt.

Bei einem von 180° abweichenden Pendelwinkel vergrößern bzw. verringern sich die angegebenen Prozentzahlen etwa proportional der Änderung des Winkels.

Abbildung 9 zeigt deutlich, daß die Verwendung von zwei konvergenten Feldern — vor allem bei kurzen Feldern — eine starke Heraufsetzung der relativen Herddosis zu erreichen gestattet. Die Pendelkonvergenzbestrahlung bleibt der Pendelung über zwei konvergente Bogenfelder dabei nur bei *kurzen Feldern* nennenswert überlegen. Bei *langen Feldern*, d. h. bei solchen, bei denen die Verschiebungsstrecke des Zentralstrahles auf der Körperoberfläche bei der Pendelkonvergenzbestrahlung etwa gleich der Feldlänge ist, wird die Pendelkonvergenzbestrahlung mit kontinuierlicher Translationsbewegung sogar ungünstiger als die Einstrahlung über zwei feststehende schräge Pendelfelder. Weshalb dies der Fall ist, läßt sich am besten an Hand der schematischen Abbildung 10 erläutern:

Abbildung 10 zeigt drei Beispiele (a—c) mit jeweils verschiedener Herdfeldlänge (5, 10 bzw. 15 cm) bei sonst gleichen Bedingungen. Der Pendelradius

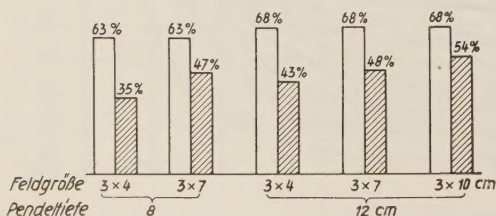
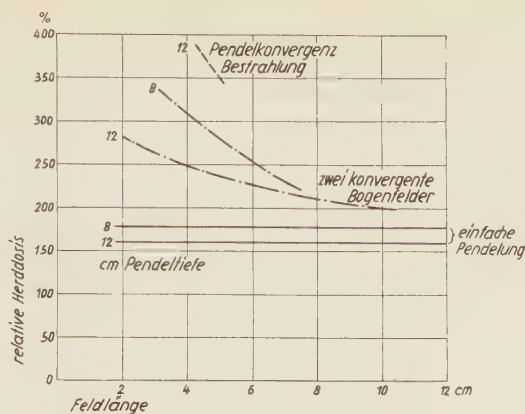


Abb. 8. Größte relative Oberflächendosis bei einfacher Pendelung (weiße Säule) und Pendelung über zwei konvergente Bogenfelder (schraffierte Säulen), jeweils bezogen auf eine mittlere Herddosis von 100% (=maximale Herddosis von 110%). Pendelwinkel immer 180° .

Abb. 9. Im Herd erzielbare Dosis bei einfacher Pendelung, Pendelung über zwei konvergente Bogenfelder und (vergleichsweise nach Wichmann [1]) bei Pendelkonvergenzbestrahlung. Pendelwinkel immer 180° .



beträgt — wie dies bei der Pendelkonvergenzbestrahlung allgemein üblich ist — 50 cm, der Translationswinkel 60° und die Pendeltiefe 12 cm. Dann ergeben sich auf der *Haut* die unten in Form schraffierter Flächen angegebenen Belastungen, wobei die maximale Oberflächendosis immer gleich groß angenommen ist. Die schraffierten Flächen sind in dieser Darstellung aber gleichzeitig ein Maß für die Ausnützung der Haut bzw. für die auf den Herd eingestrahelten Dosen. Setzt man die bei der Einstrahlung über zwei konvergente Pendelfelder erzielbaren Dosen gleich 100%, so zeigt sich, daß bei einem Herdfeld von 5 cm Länge (a) mittels der Pendelkonvergenzmethode 180%, d. h. 80% mehr Dosis eingestrahlt werden kann. (Bessere Verhältnisse ließen sich in diesem

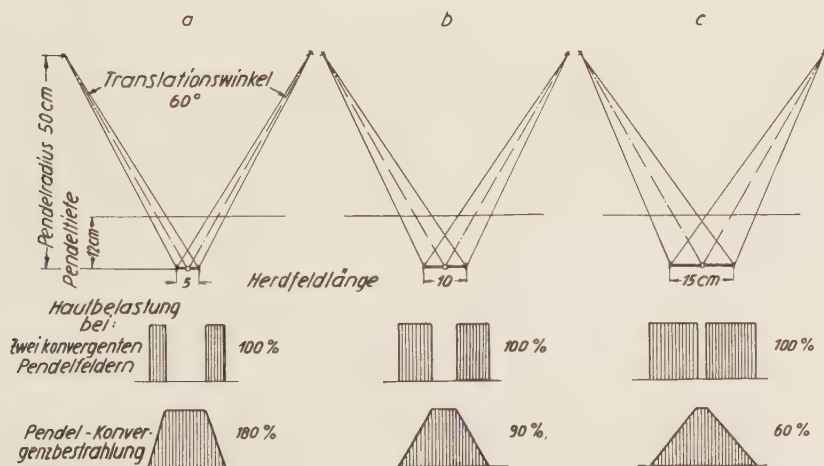


Abb. 10. Schematische Darstellung der Verhältnisse bei der Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder und der Pendelkonvergenzbestrahlung bei verschiedenen langen Herden. Die schraffierten Flächen zeigen die Verteilung der Dosis auf der Haut an. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die Ausnützung der Haut, wobei der bei der Einstrahlung über 2 Felder sich ergebende Wert = 100 % gesetzt wurde. (Näheres vgl. Text.)

Fälle bei der Einstrahlung über nicht kontinuierlich verschobene konvergente Pendelfelder nur erreichen, wenn an Stelle von zwei, drei oder gar vier Pendelfelder verwendet würden, die auf der Haut grundsätzlich Platz hätten.) Je länger jedoch das Herdfeld wird, um so mehr gleicht sich diese Differenz aus. Wie die Beispiele b und c zeigen, wird die Bestrahlung über 2 konvergente Bogenfelder bei Feldlängen über 10 cm der Pendelkonvergenzmethode in zunehmendem Maße überlegen. Dies ist ohne weiteres verständlich, wenn man berücksichtigt, daß bei der Pendelkonvergenzbestrahlung, bei der die Translationsbewegung ja sofort bei Bestrahlungsbeginn einsetzt, die Haut nur in einer schmalen Mittelzone mit der vollen zulässigen Dosis belastet wird.

In der Praxis werden diese Verhältnisse infolge der Tatsache, daß unter einem schrägen und bei der Pendelkonvergenzbestrahlung außerdem auch noch ständig veränderlichen Winkel eingestrahlt wird, wodurch sich die jeweilige Momentanherdtiefe ständig verändert, allerdings noch etwas verschoben. Dies hat zur Folge, daß die Herddosen bei der Pendelkonvergenzbestrahlung mit langen Herden um ein Geringeres günstiger werden als in unserem Beispiel angegeben, bei kurzen Herden dagegen nicht ganz so günstig wie berechnet. Dieser Einfluß ändert jedoch nichts an der Tatsache, daß die Pendelkonvergenzbestrahlung nur bei im Verhältnis zur Pendeltiefe kurzen Herden zu empfehlen ist und daß bei langen Herden die Einstrahlung über zwei konvergente Pendelfelder bessere Dosisverhältnisse zu liefern vermag als die Pendelkonvergenzbestrahlung. Aus diesem Grunde ist es — was leider gelegentlich geschehen ist (Wichmann [1]) — irreführend, die *Leistungsfähigkeit verschiedener Bestrahlungsverfahren* mit den Verhältnissen bei der Pendelkonvergenzbestrahlung mit kleinen Herdfeldlängen zu vergleichen. Die in diesem Falle besonders günstige Pendelkonvergenzbestrahlung ist bei längeren Feldern keineswegs sehr vorteilhaft. Auch an Apparaturen, die grundsätzlich eine kontinuierliche Translationsbewegung auszuführen gestatten, sollten *lange Herde* deshalb besser über *zwei fest eingestellte konvergente Pendelfelder* bestrahlt werden.

Es erhebt sich jetzt nur noch die Frage, wie die Bestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder praktisch zweckmäßig durchzuführen ist. Um zu erreichen, daß die Dicke der durchstrahlten Schicht nicht unnötig groß wird — was eine Verringerung der Herddosis zur Folge hätte — ist zu empfehlen, die beiden Felder unter einem möglichst *kleinen Neigungswinkel* anzusetzen. Es genügt im allgemeinen, wenn zwischen beiden Pendelfeldern eine *unbestrahlte Hautzone von etwa 2 cm übrigbleibt*. Dies bedeutet, daß der Neigungswinkel bei kurzen Herden klein sein kann und nur bei langen Herden größer gewählt werden muß. Die *Einstellung* der Felder und Lagerung des Patienten können dann einfach erfolgen, so daß sich nähere Erläuterungen erübrigen.

Es bleibt schließlich nur noch das Problem, ob es erforderlich ist, beide konvergente Pendelfelder täglich zu bestrahlen. Kuttig [5] hält dies — ausgehend von der Auffassung, die der Haut verabreichte tägliche Dosis solle möglichst klein sein — für erforderlich. Wir selbst konnten dagegen beobachten, daß die Hautreaktionen unabhängig davon, ob eine bestimmte Dosis täglich oder die doppelte Dosis jeden zweiten Tag verabreicht wird, weitgehend gleich ausfallen (Barth, Wachsmann und Böhmer [10]). Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die *tägliche Oberflächendosis* nicht größer als 200 r bzw. die *jeden zweiten Tag* verabreichte nicht größer als 350 r ist. In diesem Sinne scheint es also zur Vereinfachung der Einstelltechnik ohne weiteres möglich, wechselweise Tag um

Tag nur je eines der beiden konvergenten Bogenfelder zu bestrahlen. Die Dosis muß dabei allerdings so bemessen sein, daß die erforderliche tägliche Herddosis (etwa 200–300 r) erreicht wird.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Messungen der Dosisverteilung bei einfacher Pendelbestrahlung und Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder werden mitgeteilt. Sie zeigen, daß die Anwendung von zwei konvergenten Pendelfeldern, bezogen auf gleiche Herddosen, tatsächlich eine nennenswerte Herabsetzung der Oberflächendosis, d. h. eine Verbesserung der „relativen Tiefendosis“, zu erzielen gestattet. Der Gewinn ist bei kleinen Feldlängen größer als bei langen Feldern. Auch ist das homogen durchstrahlte Volumen bei Anwendung von zwei konvergenten Pendelfeldern meist etwas größer. Dann wird die Pendelbestrahlung über zwei konvergente Bogenfelder mit der Pendelkonvergenzbestrahlung verglichen. Es zeigt sich, daß die Pendelkonvergenzbestrahlung nur bei kleinen Herdfeldlängen (bei 12 cm Pendeltiefe bis etwa 10 cm) der Bestrahlung über zwei Bogenfelder überlegen ist. Bei längeren Herden wird daher empfohlen, der Bestrahlung mit zwei konvergenten Feldern den Vorzug zu geben.

Summary

The results of measurements of the dose distribution of regular pendulum irradiation and pendulum irradiation over two convergent arc fields were reported. They demonstrate that the use of two convergent pendulum fields gives a considerable decrease of the surface dose that is to say an improvement of the relative depth dose by the same tumour dose. The advantage is greater using small field sizes than long ones. The homogeneous irradiated volume is greater if two convergent pendulum fields were used. The pendulum irradiation over two convergent arcs was compared with pendulum convergent irradiation. Pendulum convergent irradiation is superior to the use of two convergent pendulum fields only at small field sizes (at 12 cm pendulum depth up to 10 cm). For the irradiation of long tumours it is recommended to prefer the use of two convergent fields.

Résumé

Les auteurs communiquent les résultats de mesures de la répartition des doses dans la thérapie pendulaire simple et dans la radiothérapie pendulaire avec deux champs convergents. Ils montrent que la thérapie avec deux champs pendulaires convergents, pour de mêmes doses-foyer, permet effectivement une diminution notable de la dose superficielle, c. à d. une amélioration de la "dose en profondeur relative". L'avantage est plus grand avec des champs étroits qu'avec des champs larges. Le volume homogène irradié est également un peu plus grand avec deux champs pendulaires convergents. Les auteurs comparent ensuite l'irradiation pendulaire à deux champs convergents avec la thérapie pendulaire convergente. Ils constatent que la thérapie pendulaire de convergence n'est supérieure à l'irradiation avec deux arcs convergents que lors d'utilisation de petits foyers (pour une profondeur pendulaire de 12 cm jusqu'à environ 10 cm). Dans les champs plus allongés ils préfèrent l'irradiation avec deux champs convergents.

Schrifttum

1. Wichmann, H.: Fortschr. Röntgenstr. 83 (1955): 583. — 2. Neumann, W., u. F. Wachsmann: Strahlentherapie 74 (1944): 340. — 3. Jensen, A.: Acta radiol. 26 (1945): 99. — 4. Wachsmann, F., u. G. Barth: Die Bewegungsbestrahlung, Stuttgart 1953. — 5. Kuttig, H.: Strahlentherapie 101 (1956): 3. — 6. Lehmann, J.: Geburtsh. u. Frauenheilk. 16 (1956): 378. — 7. Schinz, H. R., u. R. Wideröe: Strahlentherapie 95 (1954): 33. — 8. Wichmann, H.: Fortschr. Röntgenstr. 85 (1956): 616. — 9. Kuttig, H.: Radiol. Austriaca 9 (1956): 151. — 10. Barth, G., F. Wachsmann u. D. Böhmer: Strahlentherapie (im Druck).

LEBENS LAUF

Ich wurde am 31. März 1931 in Lipno/Westpreußen als Sohn des evangelischen Pfarrers Erich Buse und dessen Ehefrau Natalie geb. Hauck geboren.

Nach dem Besuch der ersten 3 Klassen Volksschule trat ich in die Walter-Flex-Oberschule in Lipno ein, der ich bis zur Evakuierung im Januar 1945 angehörte.

Vom Sommer 1946 bis Juli 1951 besuchte ich das Humanistische Gymnasium in Ansbach/Mittelfranken. Ich erwarb mein Reifezeugnis an dieser Lehranstalt am 17. Juli 1951.

Im Wintersemester 1951/52 immatrikulierte ich mich an der Juristischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen. Im Mai 1952 wechselte ich die Fakultät und studierte an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen in ununterbrochener Folge Medizin. Ich bestand im Oktober 1954 die ärztliche Vorprüfung in Erlangen mit der Gesamtnote „gut“ und mein ärztliches Staatsexamen im Januar 1958 mit der Gesamtnote „sehr gut“.

Seit dem 1. März 1958 bin ich an der Chirurgischen Universitäts-Poliklinik in Erlangen als Medizinalassistent tätig.

